

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015



Bahnlaufsimulation in Verarbeitungsmaschinen – Ergebnisse und Optimierungsstrategien –

Dipl.-Ing. André Philipp, Prof. Dr.-Ing. Ralf Mikut,
Dipl.-Ing. He Li, M. Sc. Chang You
13. März 2015

Packaging Technology

1

André Philipp | PANL/END2 | 13.03.2014 | © Robert Bosch GmbH 2014. Alle Rechte vorbehalten, auch bzgl. jeder Verfügung, Verwertung, Reproduktion, Bearbeitung, Weitergabe sowie für den Fall von Schutzrechtsanmeldungen.



BOSCH

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Einführung

→ Spannungsfeld der Verpackung



→ Auswirkungen auf Verpackungsmaschinen

- Zunehmende Automatisierung → autonome Verpackungsmaschine
- Optimierung von leistungsmindernden Prozessen

Spannungsfeld der Verpackung nach [1]

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
 - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
 - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
 - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
 - Modellbildung
 - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
 - Modellanpassung
 - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick



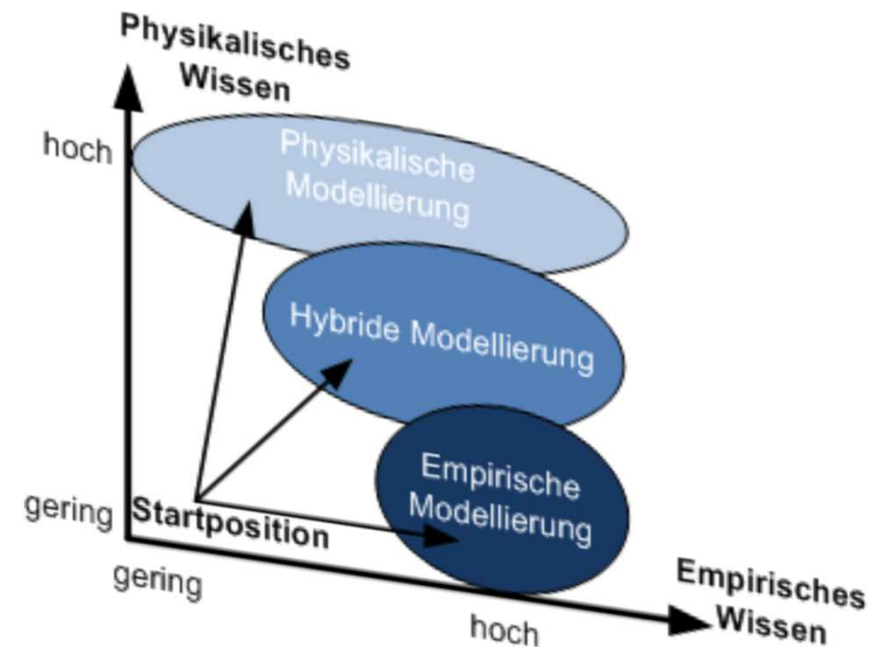
Grundlagen Modellbildung/Systemidentifikation

→ Paradigmen der Modellbildung

- Theoretische Modelle
 - „white Box“
 - „black Box“
- Praxisorientierte Modelle
 - „grey Box“

→ Prinzipieller Modellierungsablauf

- Messdatenerfassung
- Mathematische Modellbildung
- Modelloptimierung



Paradigmen der Modellbildung nach [2]

Modellbildung des lateralen Bahnverhaltens

→ Ansatz zu Bildung eines „Roll-to-Roll“ - Modells nach J.J. Shelton

- Euler-Bernoulli-Balken

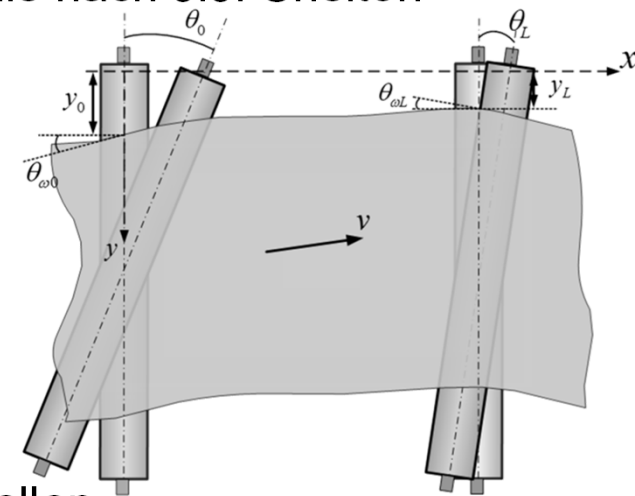
$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - K^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0 \quad \text{mit} \quad K^2 = \frac{T}{EI}$$

- Lösungsansatz

$$y = C_1 \sinh(Kx) + C_2 \cosh(Kx) + C_3 x + C_4$$

- Lösung für zwei fixierte, parallele Umlenkrollen

$$\frac{Y_L(s)}{Y_0(s)} = \frac{-\frac{1}{\tau} f_3(KL)s + \frac{1}{\tau^2} f_1(KL)}{s^2 + \frac{1}{\tau} f_2(KL)s + \frac{1}{\tau^2} f_1(KL)} \quad \text{mit} \quad \tau = \frac{L}{v}$$



→ PDT2 – Übertragungsverhalten

Schema nach [3] /Gleichungen nach [4]

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Inhalt

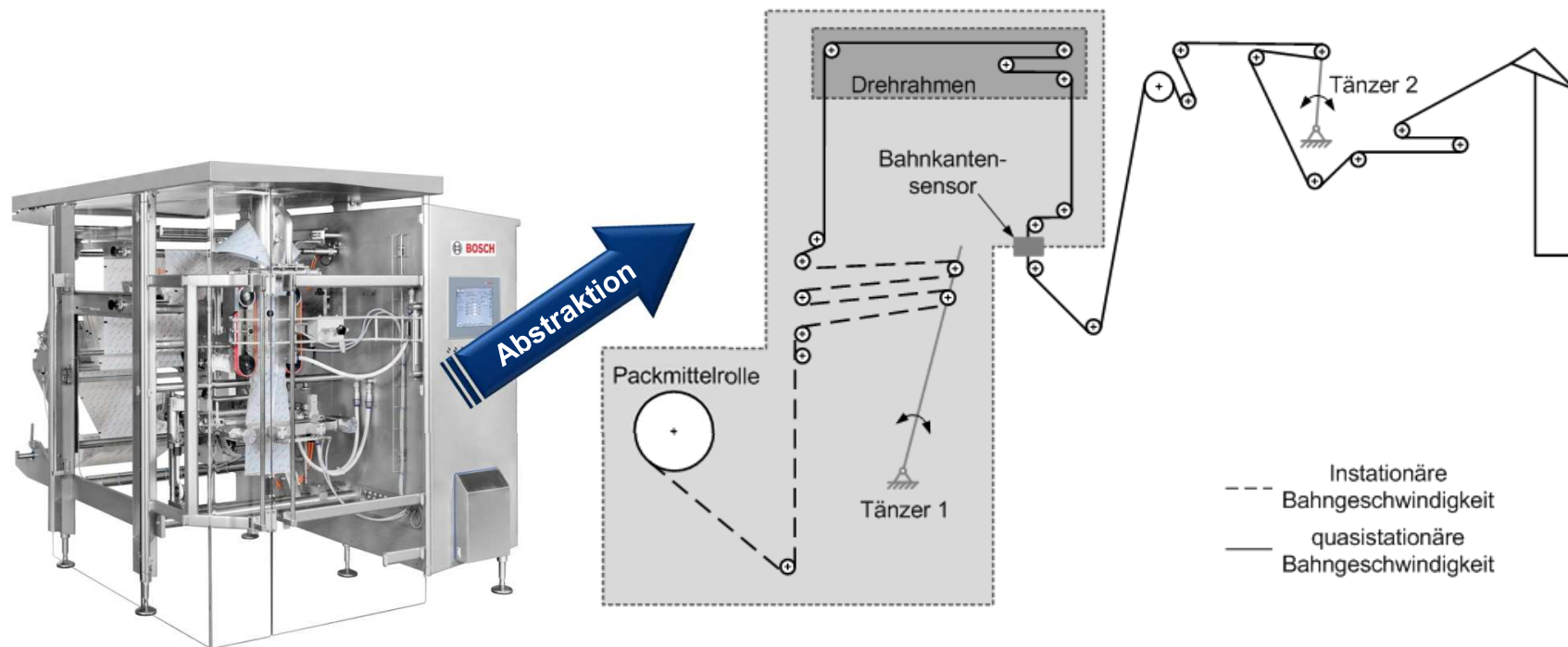
- Stand von Wissenschaft und Technik
 - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
 - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
 - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
 - Modellbildung
 - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
 - Modellanpassung
 - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick



Systemdefinition inkl. Randbedingungen

→ Ziele:

- Simulationsgenauigkeit von $\pm 0,5\text{mm}$
- Ausführbarkeit der Simulation auf low-cost Industriesteuerung



8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Modellbildung

- Gewählte Modellbildung: „grey Box“ - Modell
- Idealisertes „Roll-to-Roll“ System → nichtlineare DGL 1. Ordnung
- Lösung der linearisierten DGL im Zeitbereich

$$\dot{y}(t) = \frac{v(t)(y_0(t) - y(t))}{L(t)}$$

- Übertragungsverhalten:

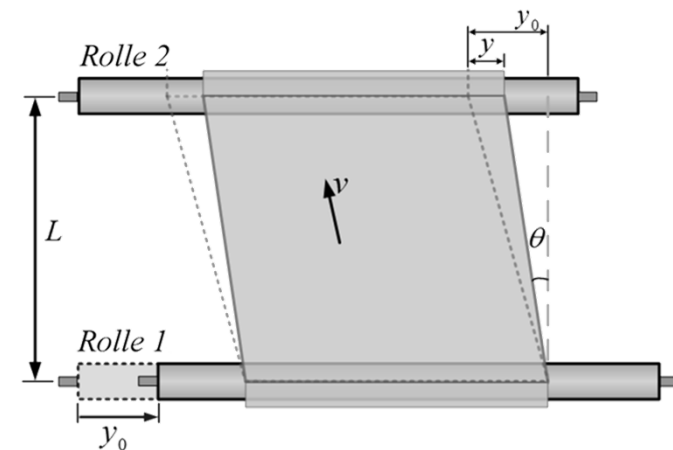
$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{1}{\tau * s + 1} \quad \text{mit} \quad \tau = \frac{L}{v}$$

→ **PT1 – Übertragungsverhalten**

- Übergang zu adaptivem Übertragungsverhalten

$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{1}{k * \tau * s^2 + \tau * s + 1} \quad \text{mit} \quad \tau = \frac{L}{v}$$

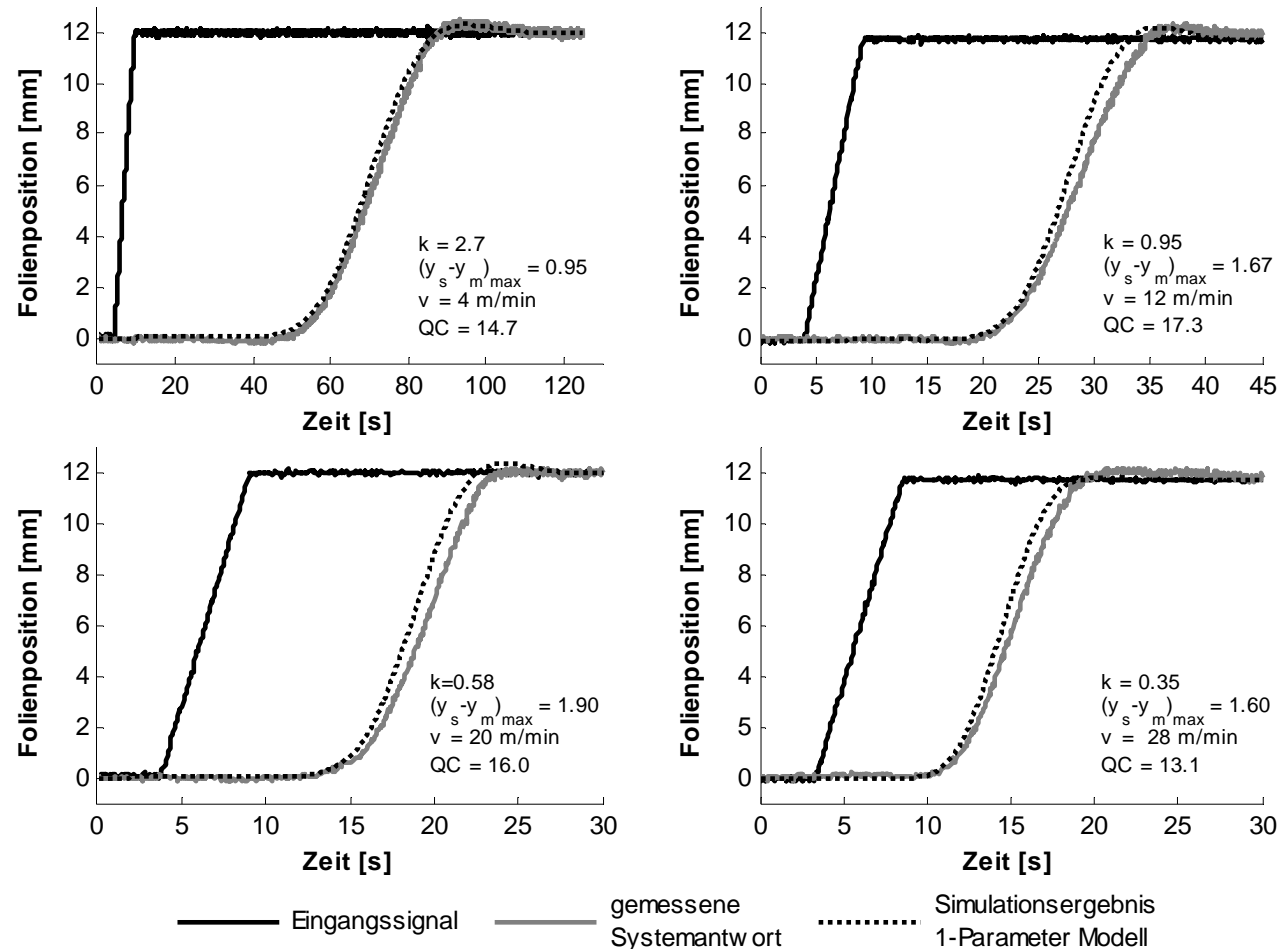
→ **PT2 – Übertragungsverhalten**



Gleichungen nach [5]

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Ergebnisse



Packaging Technology



8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
 - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
 - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
 - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
 - Modellbildung
 - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
 - Modellanpassung
 - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick



Modellanpassung

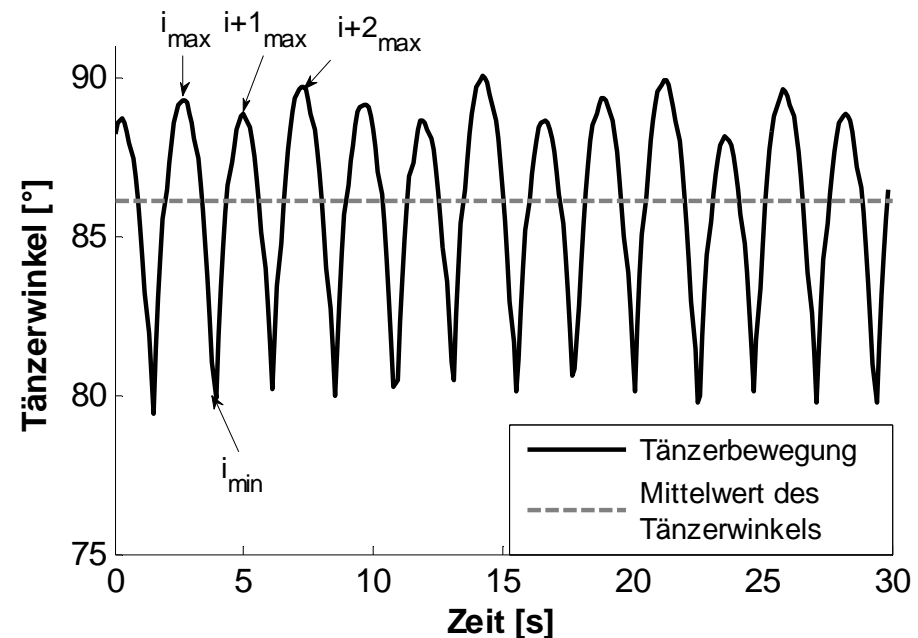
- Bahnkraftgeregeltes Tänzersystem
- Diskretisierung der Tänzerbewegung:

$$\bar{L} = \frac{L_{i_{\max}} + L_{i+1_{\max}}}{2}$$

$$\bar{v} = v_0 + \frac{L_{i_{\max}} - L_{i_{\min}}}{2(t_{i_{\min}} - t_{i_{\max}})}p$$

- Übertragungsfunktion von „Roll-to-Roll“ Systemen im Tänzerbereich:

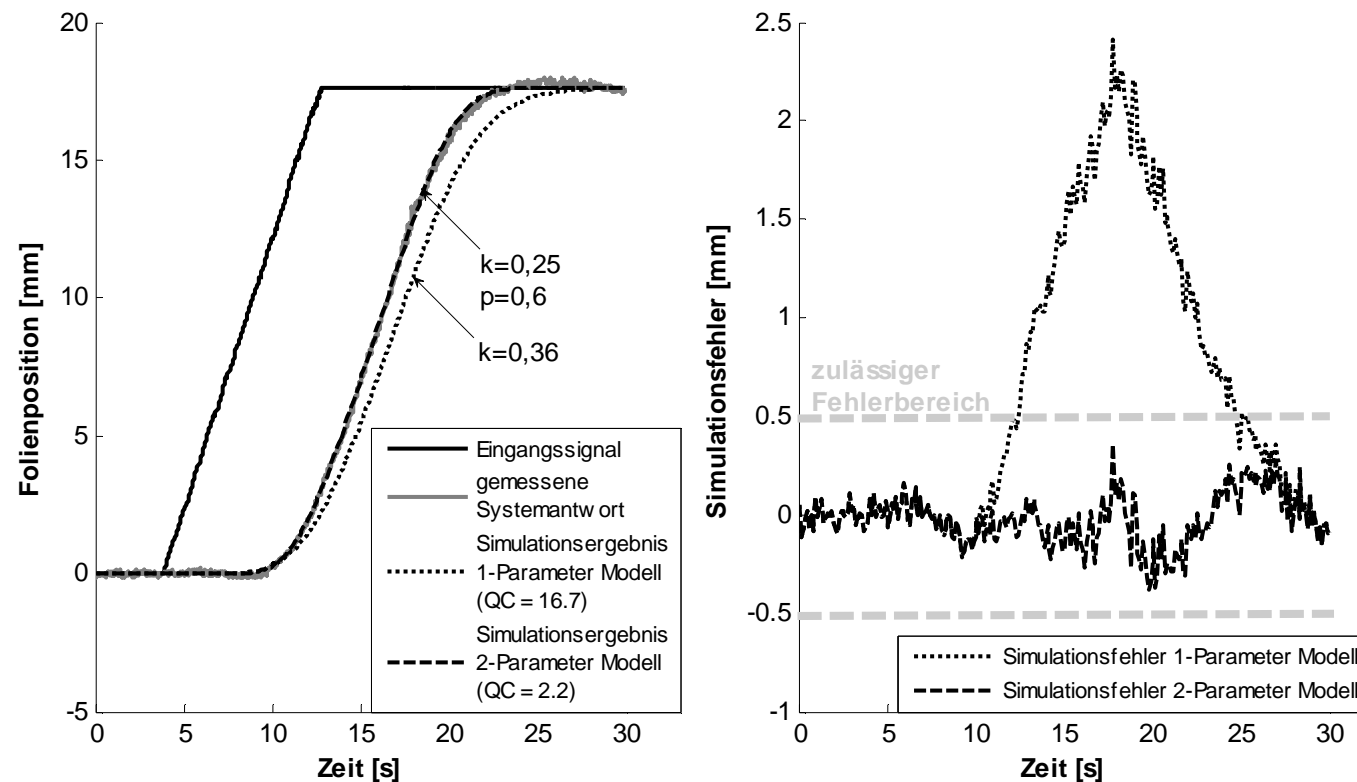
$$\frac{Y(s)}{Y_0(s)} = \frac{1}{k * \tau^* * s^2 + \tau^* * s + 1} \quad \text{mit} \quad \tau^* = \frac{\bar{L}}{\bar{v}}$$



Modellierungsansatz nach [6]

Ergebnisse

→ Gegenüberstellung Simulation 1-Parameter und 2-Parameter Modell



8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

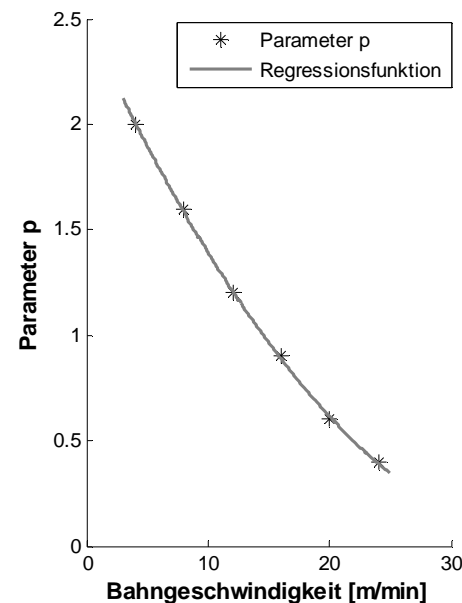
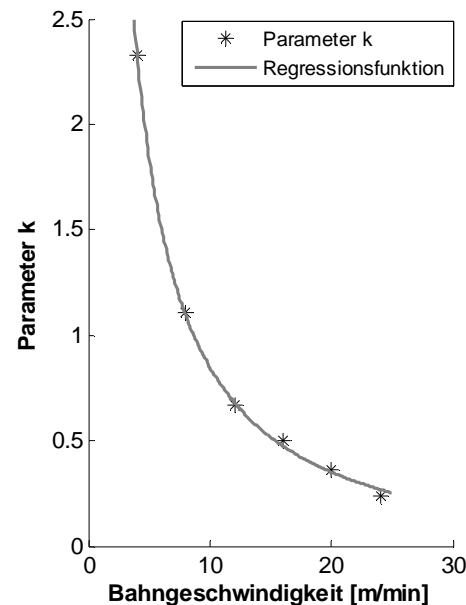
Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
 - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
 - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
 - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
 - Modellbildung
 - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
 - Modellanpassung
 - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick



Korrelation der Modellparameter

→ Abhängigkeit der Modellparameter von der Bahngeschwindigkeit



→ Regressionskurven:

$$k = \frac{9,922}{v} - 0,1446$$

$$p = 1,563 \cdot 10^{-3} v^2 - 1,245 \cdot 10^{-1} v + 2,48$$

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Inhalt

- Stand von Wissenschaft und Technik
 - Grundlagen der Modellbildung und Systemidentifikation
 - Modellierung des lateralen Bahnverhaltens
- Laterales Bahnverhalten in einer Verarbeitungsmaschine
 - Systemdefinition inkl. Randbedingungen
 - Modellbildung
 - Ergebnisse
- Optimierung der Modellbildung
 - Modellanpassung
 - Ergebnisse
- Korrelation der Modellparameter
- Zusammenfassung/Ausblick



Zusammenfassung/Ausblick

→ Zusammenfassung:

- Hybride Modellbildung des lateralen Bahnlaufs innerhalb einer vertikalen Schlauchbeutelmaschine
- Erreichen der Genauigkeitsanforderungen von $\pm 0,5\text{mm}$
- Vorstellung eines adaptiven Simulationsmodells, welches direkt auf einer preisgünstigen Industriesteuerung funktioniert
- System ist eine Alternative für das „white-Box“- Modell von J.J. Shelton

→ Ausblick:

- Kombination mit Drehrahmensystem
- Kombination mit FriWFP – Scanner [7]



8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing. André Philipp
Robert Bosch Packaging Technology B.V.
Industriekade 43
6001 SE Weert
Tel.: +31 495 574 382
Mobil: +31 628 306 983
E-Mail: andre.philipp@bosch.com

Packaging Technology



BOSCH

8. wissenschaftliche Fachtagung - VVD 2015

Referenzen

- [1] **Onlinequelle:** http://www.beschaffung-aktuell.de/home/-/16537505/26937472/Entwicklung-und-Tendenzen/art_co_INSTANCE_0000/maximized/; zuletzt geprüft: 02.05.2014
- [2] T. A. Johansen (1994): „**Operating regime based process modeling and identification**“, Doktorarbeit, Norwegisches Institut für Technologie – Universität Trondheim
- [3] A. Seshadri, P. R. Pagilla.(2010): "**Optimal web guiding.**", Journal of dynamic systems, measurement and control
- [4] J. J. Shelton (1968): „**Lateral dynamics of a moving web**“, Doktorarbeit, Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma
- [5] H. Li (2013): „**Entwicklung eines Mehrstufigen Bahnpositionierungssystems**“, Diplomarbeit, Karlsruher Institut für Technologie
- [6] C. You (2014): „**Optimization of a Dual-Step web guiding System**“, Masterthesis, TU Dortmund
- [7] A. Philipp, B. Oberdorfer (2014): „**Messtechnik zur Ermittlung von Bahnkraft- und Reibwertprofilen – der Stand der Technik im Vergleich zu aktuellen Entwicklungen.**“, Tagungsband 12. Bahnlaufseminar

